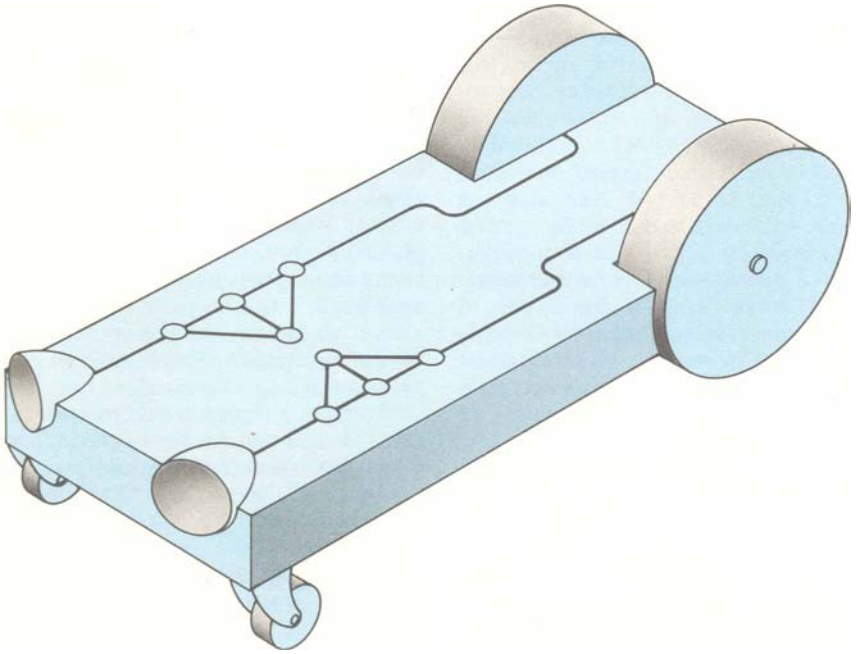
Машинки Брайтенберга - автоматы с синтетической психологией

А. К. ДЬЮДНИ

ШИРОКАЯ равнина жужжит сотнями игрушечных машинок. Одни скапливаются у основания гигантских лампочек, другие ищут себе места потемнее или же нерешительно слоняются между светом и тенью. Что это за страна, какой безумный мир?

Этот мир можно назвать миром синтетической психологии. Изобрел его Валентино Брайтенберг, сотрудник Института биологической кибернетики им. Макса Планка в Тюбингене. Тезис Брайтенберга о том, что биологическое поведение легче синтезировать, чем анализировать, наглядно иллюстрируется машинками, населяющими широкую равнину. Пользуясь лишь элементарными механизмами и электрическими устройствами, управляемыми простейшими схемами, можно имитировать поведение, в котором, по мнению Брайтенберга, проявляется любовь, агрессия, страх и предвидение. Полное описание эксперимента Брайтенберга можно найти в его небольшой занятной книжке под названием «Машинки: эксперименты по синтетической психологии» (У. V.BraitenЬerrg«Vehicles: Experiments iп Synthetic Psycholorgy»).

Но перед тем как отправиться в мир машинок Брайтенберга, я хотел бы рассказать свою собственную историю~, которая также иллюстрирует его тезис. Один профессор принес как-то раз на занятия по искусственному интеллекту любопытный предмет. Это был золотистый шар, который, как он заявил (конечно, в шутку), выпал прямо на его глазах из НЛО утром, как раз когда он направлялся в университетский городок. Повернувшись спиной к аудитории, он что-то покрутил, и шар начал жужжать. Когда профессор положил его на гладкий пол, шар внезапно пришел в движение и покатился, как бы по своей воле. Натолкнувшись на какое-нибудь препятствие, например ножку стула, он на мгновение останавливался, затем, объехав препятствие, продолжал свой путь. Один раз шар даже выкатился за открытую дверь. Пожужжав и потолкавшись с минуту в углу, он внезапно снова выкатился из тупика, как будто удовлетворенный результатами проведенного исследования. Читателям, возможно, будет интересно поразмыслить о том, какая таинственная сила управляла шаром, каким образом ему удавалось объезжать препятствия. Ответ будет дан через месяц, в следующем номере нашего журнала.



Стандартная модель машинки

У машинок Брайтенберга есть одно общее свойство с описанным золотым шаром; лишь посвященным известно, как они работают, остальные могут только в недоумении пожимать плечами. Я взял на себя смелость несколько упростить и формализовать игру Брайтенберга, так чтобы читатели смогли присоединиться к посвященным и принять участие в приключениях.

Машинку Брайтенберга можно себе представить как игрушечный автомобиль с двумя независимыми задними ведущими колесами и двумя ведомыми передними наподобие обычных роликов (см. рисунок внизу). Разница в скорости вращения задних колес определяет направление, в котором движется машинка.

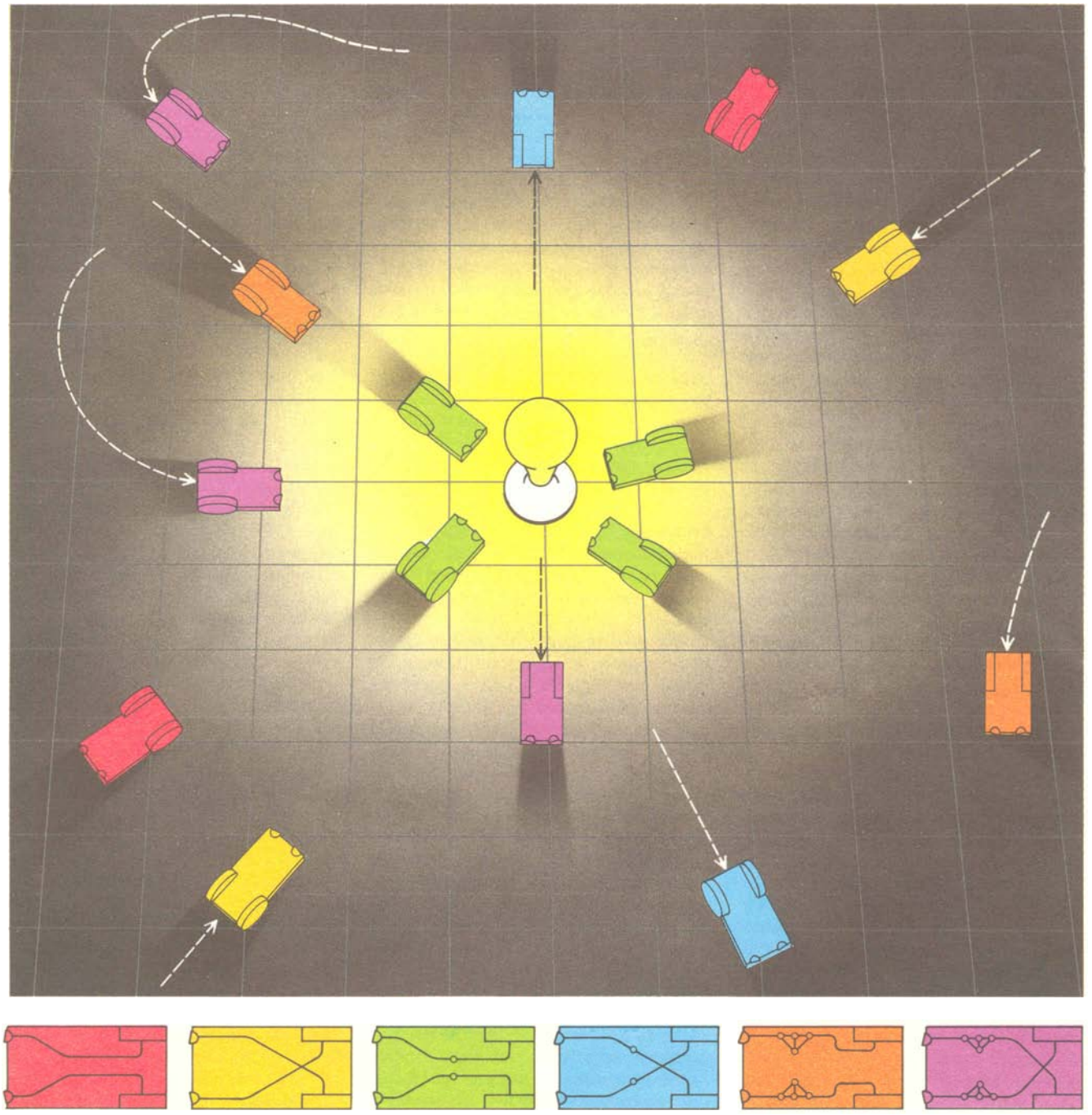
Колеса прикреплены к платформе в виде сплошного параллелепипеда. К боковым ее граням можно прикрепить различные датчики. Электрические цепи, соединяющие датчики с задними колесами, завершают конструкцию машинки. Соединительные проводники располагаются на верхней грани платформы подобно печатной схеме. В конструкцию машинки можно включить еще одну деталь - прямоугольную крышку, закрывающую электронную схему на верхней грани. Крышка служит не для того, чтобы защитить мозг машинки от дождя (у природы синтетической психологии нет плохой погоды), а чтобы скрыть ее от любопытных глаз посторонних. Нам не хочется, чтобы все видели, как просты на самом деле наши миниатюрные схемы. Пусть непосвященные наблюдатели дадут свободу своему воображению и переберут самые фантастические версии относительно того, что «на уме» у мащинок и как они работают. Не будем портить им удовольствия.

У машинки стандартной модели имеются два «глаза», или Фоторецептора, с широким углом зрения, которые установлены на передней грани платформы. Каждый рецептор направлен немного в сторону от продольной оси; при таком расположении рецепторов световой источник, расположенный впереди и слева от машинки, подействует на левый рецептор сильнее, чем на правыЙ.

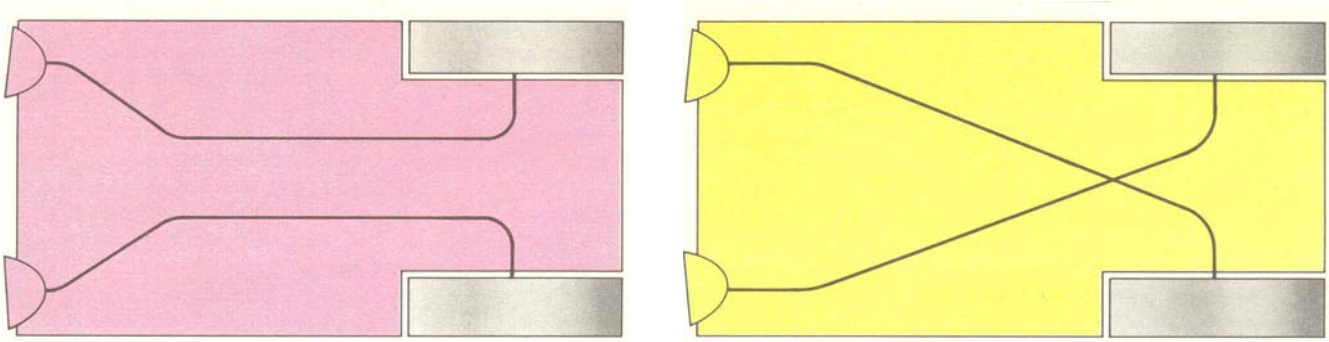
Рецепторы электрически соединены с моторчиками, приводящими в движение задние колеса. Сигналы, передаваемые по соединительным линиям, представляют собой последовательности дискретных электрических импульсов. Чем больще света падает на данный рецептор, тем больше

импульсов он посылает по своей выходной линии. При низких уровнях освещенности передается всего несколько импульсов в секунду. При высокой освещенности количество импульсов велико. Будем считать, что в обоих случаях импульсы посылаются с равными промежутками. На другом конце линий последовательности импульсов преобразуются в команды, управляющие работой моторчиков. Чем больше импульсов в секунду прибывает на данное колесо, тем быстрее крутит его моторчик.

В простейшей модели глаза машинки непосредственно соединяются двумя линиями с задними колесами. Возможны два варианта: либо проводники перекрещены, либо - нет. В последнем случае каждый проводник соединяет глаз с колесом, находящимся по ту же сторону от продольной оси. Что произойдет, если поставить такую машинку посреди бесконечной темной равнины, местами освещенной ярко горящими лампочками? Если машинка окажется поблизости от одной из лампочек и будет ориентирована передом к ней, она сразу придет в движение и немедленно начнет поворачивать в сторону от света, как бы напуганная его яркостью. Такая «боязливая» машинка, постепенно замедляясь, убежит в темноту; далее она будет медленно ползать по равнине, избегая ярко освещенных мест. Когда машинка окажется между двумя близко расположенными лампочками, она стремительно разгонится и, подобно испуганному кролику, поспешит выйти из этого неприятного и опасного места.



Машинки, блуждающие по равнине в мире синтетической психологии



Прямые (слева) *и перекрещивающиеся* (справа) *соединения приводят к разному поведению*

Такое поведение машинки, возможно, озадачит постороннего наблюдателя, однако оно имеет очень простое объяснение. Если впереди по ходу машинки, например слева, появляется источник света, ее левый глаз получит больше света, чем правыЙ. Следовательно, левый моторчик будет вращаться быстрее, чем правый: машинка начнет разворачиваться вправо, удаляясь от источника света. Если источник света появится справа, машинка повернет влево, в сторону от источника. Как только источник света пропадает из поля зрения машинки, она тут же замедляет движение и ее скорость уже регулируется средней освещенностью, создаваемой удаленными источниками.

Ну а как будет вести себя машинка с перекрещенными проводниками? Ее поведение будет противоположным. Если поставить такую машинку на большом удалении от всех лампочек, она начнет медленно двигаться по направлению к той лампочке, свет которой доминирует в ее поле зрения. По мере приближения к лампочке машинка будет двигаться все быстрее и быстрее. Наконец, на самой высокой скорости она врежется в лампочку и разобьет ее. Не покажется ли постороннему наблюдателю, что мащинка с перекрещенными проводниками ведет себя агрессивно?

В отсутствие каких-либо электронных устройств между рецепторами и моторами эти две описанные мащинки фактически исчерпывают весь доступный репертуар поведения. Чтобы добиться более сложного поведения, нужно ввести устройство, подобное так называемому абстрактному нейрону. Назовем его нейродом, чтобы не путать с настоящим нейроном.

Нейрод, по существу, представляет собой формальный вычислительный элемент, получающий импульсы от других нейродов или рецепторов. Импульсы передаются по проводникам. При определенных условиях нейрод и сам порождает импульсы. Вся система синхронизируется часовым механизмом, выдающим тактовые импульсы с частотой, скажем, 100 тактов в секунду. Нейрод выдает импульс в конце очередного такта -- причем только в конце такта, -- если число импульсов, полученных им от других нейродов в продолжение завершающегося такта, больше или равно установленному заранее значению. (Время прохождения любого импульса между любыми двумя непосредственно соединенными нейродами всегда несколько меньше длительности одного такта.) Установленное число, управляющее поведением нейрода, называется его порогом.

В самом общем случае можно сказать, что импульсы передаются от нейродов к нейродам по проводникам двух видов -- возбуждения и торможения. Нейрод срабатывает, если получает достаточное количество импульсов по линиям возбуждения, так что пороговое значение оказывается превзоЙденным. В то же время нейрод не сможет сработать в конце данного такта, если в его продолжение он получил импульс по линии торможения.

Часовой механизм управляет также рецепторами и моторами. Рецептор может послать сигнал только в конце такта. Срабатывая на каждом такте, он будет посылать 100 импульсов в секунду, достигая тем самым максимального уровня активности, на котором может работать рецептор. Моторы тоже могут получать максимум 100 импульсов в секунду от управляющих ими нейродов. Будем также предполагать, что каждый импульс, достигший мотора, поворачивает его колесо на некий небольшой угол. Такие устройства действительно существуют и называются шаговыми двигателями.

Если теперь в управляющую схему, которая до сих пор была ультрапростейшей, ввести два нейрода, поведение двух рассмотренных выше машинок коренным образом изменится; боязливые машинки станут светолюбивыми, а агрессивные превратятся в робких. Однако их поведение не станет просто противоположным, изменение будет более тонким. В обоих случаях мы вставляем один нейрод с порогом 10 посередине каждого проводника, соединяющего рецептор с мотором, а участок проводника между рецептором и нейродом заменяется проводником тормозящего типа. Следовательно, когда нейрод получает импульс от рецептора, он ничего не посылает мотору, работой которого управляет. И наоборот, когда нейрод не получает импульсов от рецептора, он срабатывает и посылает импульс мотору. Другими словами, чем выше частота импульсов, посылаемых глазом, тем медленнее крутится мотор, и, наоборот, чем ниже частота импульсов от глаза, тсм быстрее крутится мотор.

Теперь представим себе, каким будет поведение первой машинки, той, у которой проводники не перекрещены. При приближении к источнику света она двигается прямо на него, постепенно замедляясь. Наконец, она останавливается, глядя на лампочку в молчаливом восторге. Что же касается второй машинки, то перекрещенные проводники теперь заставляют ее медленно удаляться от ближайшего источника света, а затем, набирая скорость, стремительно убегать в самое темное место.

Причины такого поведения обеих машинок должны быть ясны любому, кто знает их управляющие схемы. В обоих случаях чем больше света попадает в рецепторы, тем медленнее вращаются моторы. Однако в первом случае более ярко освещенный глаз управляет более медленным мотором по ту же сторону от продольной оси. Благодаря этому отклонение от осевого направления корректируется. Во втором случае более ярко освещенный глаз управляет более медленным мотором по другую сторону от продольной оси, что лишь усиливает наметившееся отклонение.

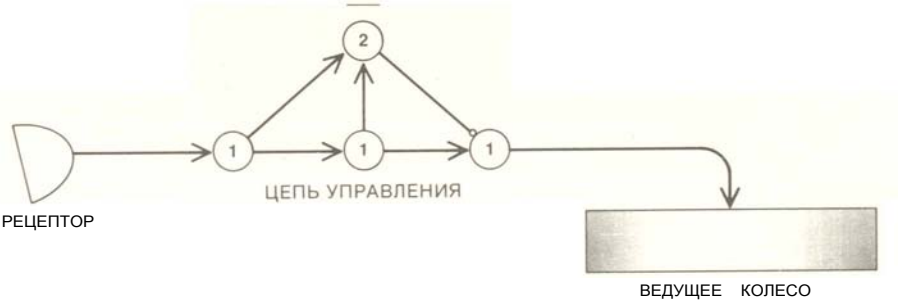
До сих пор реакция моторов на сигналы, подаваемые рецепторами, бы-

ла либо прямо, либо обратно пропорциональна частоте этих сигналов. При помощи простой схемы из четырех нейродов реакцию моторов можно сделать нелинейной. Поведение четырехнейродной схемы остается совершенно непримечательным до тех пор, пока рецептор посылает импульсы с частотой меньше 50 импульсов в секунду: чем больше импульсов в секунду поступает от рецептора, тем быстрее вращается мотор. Однако при частоте, превышающей 50 импульсов в секунду, поведение машинки становится интереснее. Вращение мотора начинает замедляться: чем больше импульсов в секунду поступает от рецептора, тем медленнее вращается мотор.

Чтобы объяснить, как работает схема управления из четырех нейродов, необходимо ввести понятие частоты импульсов. Частота импульсов - это среднее количество импульсов, приходящееся на один такт. Например, рецептор, посылающий 50 импульсов в секунду, работает с частотой 1/2, поскольку 50 импульсов в секунду, деленные на 100 тактов в секунду, дают нам 1/2 импульса на один такт (напомним, что часы отсчитывают 100 тактов в секунду). Так как нейрод или рецептор могут вырабатывать сигнал только в конце такта, частота импульсов никогда не превышает 1. Схема из четырех нейродов построена таким образом, что если глаз посылает импульсы с частотой меньшей 1/2, то все импульсы достигают мотора. Если же частота импульсов выше 1/2, то схема начинает действовать как сеть: чем больше посылается импульсов, тем меньшее их число достигает мотора.

Четырехнейродная управляющая схема состоит из трехнейродной цепочки с порогом 1 и дополнительного нейрода с порогом 2 (см. верхний рисунок справа). Первые два нейрода с порогом 1 посылают импульсы нейроду с порогом 2, который в свою очередь посылает импульс торможения третьему нейроду с порогом 1 в цепочке. Суммарный эффект этой схемы, если можно так выразиться, сводится к тому, чтобы в любой последовательности плотно прилегающих друг к другу импульсов, проходящих через это миниатюрное нервное сплетение, «убит» все импульсы, кроме первого. Предлагаю читателям самим убедиться в том, что схема работает именно так. При этом предполагается, что при частоте импульсов, меньшей 1/2, никакие два импульса не прилегают вплотную друг к другу. Однако при частотах выше 1/2 появляются скопления импульсов.

Предлагаю также поразмыслить

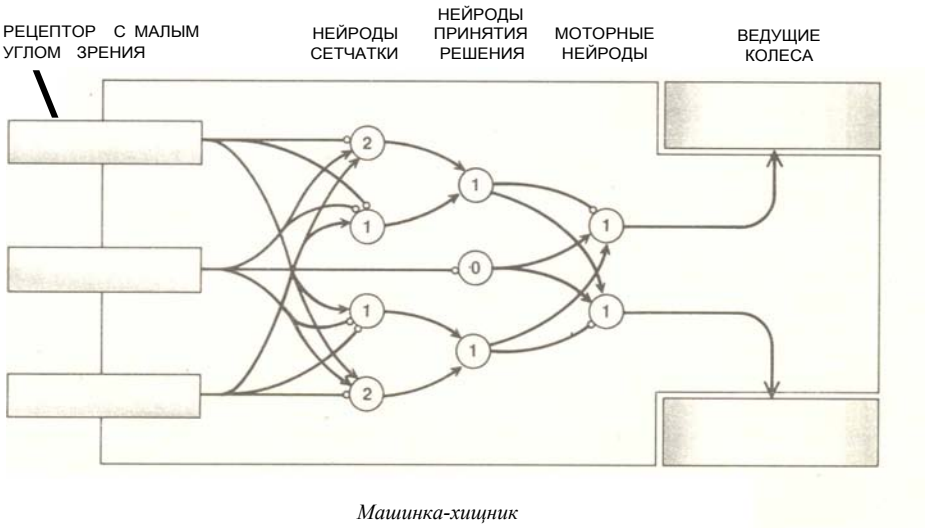


Нелинейная схема управления мотором

над тем, каким будет поведение машинок, если каждый тормозящий проводник, ведущий от рецептора, заменить возбуждающим проводником, а каждый нейрод с порогом 0 заменить четырехнейродной нелинейной схемой. Вблизи источника света, там, где частота импульсов, посылаемых рецептором, выше 1/2, машинка с неперекрещенными соединениями между рецепторами и моторами будет вести себя как светолюбивое существо. Вдали же от источников света она становится пугливой и избегает освещенных мест. В то же время машинка с перекрещенными соединениями становится то нерешительной и боязливой, то агрессивной. При частоте импульсов, превышающей границу 1/2, она ведет себя агрессивно, устремляясь к ближайшей лампочке со все возрастающей скоростью. При частотах, меньших граничного значения, она становится нерешительной и боязливо отворачивается от света.

Теперь представим себе великую равнину, населенную машинками всех шести разновидностей (см. рисунок на с. 89). Около каждой лампочки мы увидим, наверное, небольшую группу тихих ее обожателей. Несколько поодаль по извилистым орбитам будут нерешительно кружить машинки снеустойчивым характе-~ром. Еще дальше в темноте мы увидим боязливых и робких, либо тихо ползающих, либо испуганно проносящихся по сложным траекториям. Время от времени сцены тихого обожания в окрестности той или иной лампочки будут нарушаться прибытием агрессивной мащинки. Если лампочка будет при этом уничтожена, машинки начнут разбегаться кто куда в поисках другого источника света. Машинка же, виновная в гибели лампочки (если только она сама благополучно пережила столкновение), покинет сцену последней, двигаясь медленнее машинок - обожателей лампочки.

Поведенческие возможности машинок, оснащенных нейродами, практически неограниченны. На самом деле систему нейродов можно соединить таким образом, чтобы получился настоящий компьютер. Однако для чего нужен мощный мозг при таких ограниченных сенсорных возможностях? Можно, конечно, оборудовать машинки более совершенным зрительным аппаратом, снабдить их слуховыми и осязательными рецепторами. При наличии таких органов чувств можно сделать окружающую среду более сложной, интересной и разнообразной. Усовершенствованная зрительная система будет состоять уже



Машинка-хищник

не только из рецепторов с широким углом зрения, но и из узко фокусируемых, которые будут взаимно дополнять друг друга. Визуальные рецепторы можно снабдить фильтрами, так чтобы машинки могли различать цвета и чувствовать тепло (в форме инфракрасного излучения). Слуховые рецепторы могут представлять собой некое примитивное подобие ушей, настроенных на различные частотные диапазоны. В качестве осязательных рецепторов я бы выбрал длинные усики-антенны, вытягивающиеся далеко вперед. Природу равнины можно затем разнообразить звуковыми и тепловыми источниками. Машинки и сами могли бы выделять тепло. Некоторые лампочки могли бы издавать звук.

Когда я читал книжку Брайтенберга, мое внимание привлек следующий фрагмент. Описывая богатые возможности машинок, управляемых системами нейродов, Брайтенберг пишет: «Вы уже, наверное, в какой-то степени представляете себе, что может делать машинка, снабженная подобным мозгом, однако, увидев все это в действии, вы все же будете удивлены. Например, какая-то машинка может быть совершенно неподвижной в течение нескольких часов и затем внезапно прийти в движение, заметив светло-зеленую машинку, издающую звук определенной частоты и передвигающуюся со скоростью, не превышающей 5 см/с».

Это описание натолкнуло меня на мысль о машинках-хищниках, бросающихся на любую другую машинку, попадающую в их поле зрения (см• нижний рисунок на с. 91). Я сконструировал ту часть мозга хищника, которая управляет преследованием жертвы, и предлагаю читателям в качестве упражнения самим разработать конструкцию такой машинки. Возможно, читателям будет интересно изобрести другие модели мозга, вызывающие то или иное поведение.

Мозг сконструированной мною машинки-хищника построен из трех уровней взаимосвязанных нейродов• Первый уровень представляет собой модель сетчатки, выделяющей значимую информацию из тех сигналов, которые поступают от трех визуальных рецепторов с малым углом зрения• Нейроды второго уровня решают, появилась ли в поле зрения жертва. Третий уровень системы состоит из двух моторных нейродов, которые управляют ведущими колесами.

Рассмотрим данную модель подробнее. Сетчатка состоит из четырех нейродов, каждый из которых реагирует на определенные сочетания светлых и темных пятен в поле зрения трех фоторецепторов. Два нейрода в левой части схемы срабатывают, если какой-нибудь темный объект (в данном случае машинка) попадает в поле зрения самого левого или двух левых рецепторов. Эти два нейрода соединены линиями возбуждения с нейродом порога 1 на втором уровне мозга.

Нейрод второго уровня срабатывает в конце данного такта, если один из двух нейродов сетчатки сработал на предыдущем такте. Следовательно, он посылает сигнал, когда в левой части поля зрения появляется машинка. Нейрод второго уровня одновременно посылает импульсы возбуждения моторному нейроду , управляющему правым ведущим колесом, и импульсы торможения моторному нейроду , управляющему левым ведущим колесом• Таким образом, машинка начинает поворачивать влево, так что мишень сместится в центральную часть сетчатки. Нейроды правой стороны мозга хищника работают как зеркальное отражение левых. ЦентралЬНЫЙ нейрод порога 0 на втором уровне соединен одной линией торможения с центральным фоторецептором и двумя линиями возбуждения с моторными нейродами. Нейрод с нулевым порогом будет продвигать машинку прямо вперед при условии, что ни один из двух других нейродов второго уровня не работает, поскольку каждый из них может затормозить соответствующий моторный нейрод.

Очевидно синтезировать машинку Брайтенберга намного проще, чем анализировать внутренний механизм биологической нервной системы, даже такой примитивной, как у крупной морской улитки *Aplysia* [см. статью: Eric R. Kandel. Small Systems of Neurons, «Scientific American», September, 1979 (Р. К. Кендел «Малые нейронные системы»)]. Несомненно, наблюдатели, знакомые с правилами игры в синтетическую психологию, смогут понять конструкцию многих машинок Брайтенберга, просто синтезировав свои собственные аналоги~ В то же время машинки Брайтенберга говорят о том, что даже самые примитивные нервные системы могут демонстрировать поведение, кажущееся сложным и удивительным. Во всяком случае, нейрофизиологи имеют дело с существами, сложность которых на несколько порядков величины выше, чем у описанных здесь машинок.

М. А. Арбиб - специалист по информатике и мозгу, недавно перешедший в Южно-Каролинский университет, - занимается координацией исследований в области, расположенной на стыке нейрофизиологии, информатики и науки, изучающей поведение. У Арбиба есть тоже своя «машинка» для изучения деятельности мозга - моделируемая компьютером лягушка, ее научное (латинское) название *Rana computatrix* (лягушка компьютерная). В настоящее время мозг лягущки реализован лищь частично: построена грубая модель сетчатки, довольно развитый тектум и почти ничего больще. Однако уже сейчас лягушка прыгает, огибая препятствия, и отличает «добычу» от неживых предметов. Кроме того, она демонстрирует способность к простому обучению.

По мнению Арбиба, сейчас наблюдается возрождение интереса к нейронным моделям как в плане имитации живых существ, так и в плане изучения их возможностей как вычислительных систем• Несколько исследователей, работающих в первой области, создали компьютерные модели изолированных нейронных систем простых существ, таких, как кузнечики, лягушки и морские слизни. Эти модели уже привели к проверяемым предсказаниям• Небольшая группа инженеров, работающих во второй области, занимается изучением формальных нейронов как элементов параллельного компьютера.

Пропасть, лежащая между синтезом и анализом, не означает, конечно, что машинки Брайтенберга должны рассматриваться просто как игрушки. В моделях подобного рода настораживает (наверное, больше, чем пропасть между синтезом и анализом) тенденция некоторых наблюдателей характеризовать действия машинок в терминах человеческого поведения - говорить, что машинки «любят» или «ненавидят», основываясь на поведении, которое лишь кажется сложным и вовсе не является таковым на самом деле• В высказываниях Брайтенберга, по-видимому, подразумевается, что в принципе явления любви и ненависти, проявляющиеся в поведении человека, настолько же определенны, как и в «нервных системах» машинок. Совершая переход от простого к сложному и в то же время от абстрактных существ к реальным, мы вынуждены заключить, что любовь и ненависть существовали почти с самого начала.

В своей книге Брайтенберг тщательно подбирает последовательность мащинок от простых к сложным. В конце книги он объясняет, каким образом каждое предположение как в плане поведения, так и в плане конструкции основано на реальных наблюдениях. В заключение заметим, что способность зрительной системы, состоящей из многих визуальных рецепторов с узким полем зрения, различать предметы, наверное, может послужить в конце концов объяс-

нением тому, как в людном помещении муха выбирает, на чей нос сесть.

Один из наших читателей, У. Слэттери из Джеймстауна (шт. Род-Айленд), обвинил меня в некомпетентности. В статье, помещенной в февральском номере журнала, в которой речь шла о программах, рисующих горы и растения, на с. 106 было приведено изображение фрактальной горы, построенной методом деления треугольников. Упрек Слэттери заключался в том, что я не смог узнать в этом рисунке ... шляпу Шерлока Холмса. Возможно, меня следовало бы даже арестовать за то, что я ввел в заблуждение читателей. И сделать это, наверное, должен великий детектив.

Дж. Маккарти, известный ученый, специалист по информатике из Стэн-Фордского университета, высказал более серьезные замечания по поводу фрактальных гор. Он отметил, что у подножия реальных гор, подвергающихся эрозии, образуется немало речных долин. Фрактальные же горы лишены этой особенности, и, по мнению Маккарти, пейзаж должен был бы включать множество озер. Не является ли сходство фрактальных и реальных гор просто оптической иллюзией? Маккарти предостерегает против поспешного принятия фрактальных объектов в качестве моделей реальных и считает, что этот вопрос требует более глубокого изучения.

Поперечное сечение объекта, названного в статье горой Мандельброта, может, по-видимому, представлять не одну гору, а целый горный хребет. Об этом свидетельствуют компьютерные изображения, присланные К. Райтом из Грейлинга (шт. Мичиган). Чтобы вернуться к механизму одиночного горообразования, можно, например, несколько скорректировать случайные отклонения линейных отрезков, образующих профиль горы Мандельброта. Если отклонение вверх сделать более вероятным, чем вниз, то пик горы, по-видимому, становится выразительнее.

Программа, рисующая гору Мандельброта, требует неоправданно большого объема памяти, поскольку она формирует два массива для хранения чередующихся поколений точек, образующихся при последовательном разбиении профиля. Р. Ланг из Линкольн-Сентера (шт. Массачусетс) считает, что достаточно одного массива. По существу, тот же алгоритм, который был предложен в статье, можно легко модифицировать так, чтобы использовался один-единственный массив, хранящий точки профиля, подвергающегося разбиению.

Кого спасать?

Для тех больных раком молочной железы, у кого опухолевые клетки содержат избыточные копии определенного онкогена, прогноз хуже, чем для остальных. К такому выводу пришли Д. Слэмон с сотрудниками из Медицинской школы Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе и их коллеги из Научно-исследовательского медицинского центра Техасского университета в Сан-Антонио. Однако их результаты сулят не только мрачные перспективы - они открывают новый путь выявления больных, нуждающихся в особо интенсивном лечении. Возможно также, что исследования в этом направлении прольют свет на механизм развития рака молочной железы.

Д. Слэмон с коллегами заинтересовались онкогеном *HER-2/neu,* после того как появилось сообщение о том, что в культурах, выращенных из опухолевых клеток молочной железы, в *10%* клеток этот ген амплифицирован, т. е. содержится вненормально большом числе копий. Кроме того, другой исследовательской группой из Калифорнийского университета была обнаружена корреляция между присутствием в клетках избыточных копий онкогена *N-myc* и сроком жизни детей с нейробластомой (рак нервной ткани). Эти данные наводили на мысль, что проверку на амплификацию можно использовать для прогнозирования течения ракового заболевания.

Группа Слэмона провела анализ образцов опухолевой ткани у 103 больных раком молочной железы, и оказалось, что у тех из них, у кого рак захватил три или более подмышечных лимфатических узла, в опухолевых клетках ген *HER-2/neu* чаще всего амплифицирован. Поражение лимфатических узлов - сильнейшее клиническое указание на рецидив и скорую смерть. Поэтому исследователи сочли, что *HER-2/neu* может служить для прогнозирования состояния больного. У 86 пациенток, у которых рак затронул лимфатические узлы, обнаружилась четкая корреляция между степенью амплификации и течением заболевания: чем больше копий HER-*2/neu* содержал ось в опухолевых клетках, тем меньший срок оставалось прожить больной. Особенно явственной эта связь была, когда число копий гена превышало пять.

Сейчас Слэмон и его коллеги пытаются выяснить, есть ли связь между амплификацией гена *HER-2/neu* и развитием заболевания у тех больных раком молочной железы, у которых лимфатические узлы не поражены. Поводом к этой работе, результаты которой ожидаются к концу 1987 г., служит то, что в случае ракового поражения лимфатических узлов (а оно имеет место при сравнительно далеко зашедшем раке молочной железы) после удаления первичной опухоли обычно назначается лучевая терапия или химиотерапия, и по сути дела информация о дальнейшем течении заболевания, даваемая прогнозированием по амплификации онкогена, уже не прибавит ничего нового к лечению. У тех же больных, у кого лимфатические узлы остались «чистыми», рецидивы считаются маловероятными и им не предписывают интенсивной противораковой терапии. Однако, как отмечает Слэмон, на самом деле у таких больных рецидивы наблюдаются в *25-30%* случаев. И если присутствие множественных копий HER-*2/neu* действительно свидетельствует о грядущем рецидиве или о скорой смерти, врачи получат способ выявить среди них пациенток, которым необходимо интенсивное лечение.

Если избыток известного онкогена коррелирует с потенциальным сроком жизни больного, то следует предположить, что данный онкоген участвует в канцерогенезе. Каким образом ген *HER-2/neu,* о котором известно, что он может вызывать злокачественное перерождение нервных клеток у крыс, приводит к раку молочной железы у человека? По-видимому, этот онкоген кодирует рецептор клеточной поверхности, предназначенный для связывания какого-то неизвестного пока фактора роста. Взаимодействие рецептора с фактором роста побуждает клетку к размножению. Исследователи предполагают, что вследствие амплификации *HER-2/neu* в клетках синтезируется избыточное количество молекул рецептора. Такие клетки способны связывать больше молекул фактора роста, и в результате их размножение усиливается. Возможны и другие объяснения. Как бы то ни было, если избыточное связывание фактора роста «повинно» в возникновении рака молочной железы, идентификация данного фактора роста и его рецептора может привести к разработке препарата, блокирующего их активность, и, быть может, к появлению нового средства лечения одного из самых агрессивных видов рака.